

5

10

Verfahren und Computerprogramm zum Generieren eines Modells  
für das Verhalten einer Steuereinrichtung

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Generieren eines Modells für das funktionale Verhalten einer Steuereinrichtung, wobei die Steuereinrichtung ausgebildet ist zum Berechnen einer geeigneten Stellgröße für eine Regelstrecke, insbesondere eines Luftpfadsystems einer

20 Brennkraftmaschine, im Ansprechen auf einen vorgegebenen Sollwert für eine Regelgröße der Regelstrecke. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Steuerungssystem und ein Regelungssystem jeweils mit einer derartig ausgebildeten Steuereinrichtung. Schließlich betrifft die Erfindung auch

25 einen Datenträger mit dem genannten Computerprogramm.

Stand der Technik

Aus dem Stand der Technik, insbesondere aus der WO 89/09953

30 ist ein derartiges Verfahren und sind derartige Systeme grundsätzlich bekannt. Es wird dort ein Verfahren zur Trajektorienfolge von Achspositionen eines Roboters vorgestellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Regelstrecke linear ist und mit Hilfe einer

35 Übertragungsfunktion  $G(s)$  im Frequenzbereich beschrieben

werden kann. Aus der Trajektorienfolge, das heißt dem vorgegebenen Soll-Verlauf der Achsbewegung wird mit Hilfe einer Steuereinrichtung, deren Übertragungsfunktion der inversen Übertragungsfunktion der Regelstrecke entspricht,

5 eine Stellgröße für die Regelstrecke bestimmt. Um die Regelgröße noch präziser auf den vorgegebenen Soll-Verlauf einstellen zu können, wird die Stellgröße erforderlichenfalls mit Hilfe einer parallel zu der Steuereinrichtung geschalteten Regeleinrichtung korrigiert.

10 Zu diesem Zweck wird der Regeleinrichtung eine Regelabweichung zwischen einer Soll-Position und einer tatsächlichen Achsposition als Regelgröße zugeführt. Die Regeleinrichtung berechnet aus dieser Regelabweichung einen Korrekturanteil für die Stellgröße, welcher auf die von der

15 Steuereinrichtung berechnete Stellgröße aufgeschaltet wird, um der Regelstrecke dann eine auf diese Weise generierte korrigierte Stellgröße zuzuführen.

Dem in der WO 89/09953 offenbarten Verfahren haftet der  
20 Nachteil an, dass es nur auf Regelstrecken mit linearem Verhalten und mit nur einer Regelgröße anwendbar ist.

Ausgehend von diesem Stand der Technik ist es deshalb die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und Computerprogramm  
25 zum Generieren eines Modells für das funktionale Verhalten einer Steuereinrichtung sowie ein Steuerungssystem und ein Regelungssystem mit jeweils einer Steuereinrichtung mit einem derartig generierten Modell und einen Datenträger mit dem genannten Computerprogramm bereitzustellen, welche eine  
30 Generierung eines derartigen Modells für eine Steuereinrichtung auch dann ermöglichen, wenn das Verhalten einer der Steuereinrichtung nachgeschalteten Regelstrecke nicht linear ist und mehrere Regelgrößen zu steuern beziehungsweise zu regeln sind.

Diese Aufgabe wird durch das in Patentanspruch 1 beanspruchte Verfahren gelöst. Dieses Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass die Invertierung des Modells für die Regelstrecke zur Generierung des Modells für die

5 Steuereinrichtung folgende Schritte umfasst: Berechnen einer Gleichung für die N'te Ableitung für die Regelgröße als Funktion der Stellgröße und der Regelgröße selber und/oder deren zeitlichen Ableitungen n'ter Ordnung mit n = 1...N-1; und Generieren des Modells für die

10 Steuereinrichtung durch Auflösen der Gleichung für die N'te Ableitung für die Regelgröße nach der Stellgröße.

#### Vorteile der Erfindung

15 Dieses erfindungsgemäße Verfahren bietet den Vorteil, dass mit ihm die Generierung eines Modells für eine Steuereinrichtung innerhalb eines Steuerungssystems oder eines Regelungssystems auch dann möglich ist, wenn die jeweilige Regelstrecke in diesen Systemen ein nicht-

20 lineares Verhalten zeigt und/oder mehrere Regelgrößen zu steuern oder zu regeln sind. Voraussetzung ist jedoch in jedem Fall, dass die Regelstrecke in Form eines mathematischen Modells mit physikalisch motivierten Gleichungen beschreibbar ist. Das erfindungsgemäß generierte Modell für die Steuereinrichtung hat dann Gültigkeit im gesamten Betriebsbereich der Regelstrecke, der durch das Modell abgebildet wird.

30 Vorteilhafterweise ist es in der Regel für die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens nicht erforderlich, dass das Modell für die Regelstrecke deren funktionales Verhalten vollumfänglich und sehr detailliert beschreibt. Vielmehr ist es für die vorliegende Erfindung ausreichend, ein eventuell reduziertes Modell der Regelstrecke zu

35 verwenden, welches deren Dynamik und deren lineares

beziehungsweise nicht lineares Verhalten nur insoweit abbildet, als es für die Regelung relevant ist.

Ein Ausführungsbeispiel zur Generierung eines Modells für  
5 die Steuereinrichtung gemäß der Erfindung ist Gegenstand  
eines Unteranspruchs.

Die oben genannte Aufgabe wird weiterhin durch ein  
Computerprogramm zum Durchführen des Verfahrens, durch  
10 einen Datenträger mit diesem Computerprogramm sowie durch  
ein Steuerungssystem und ein Regelungssystem, jeweils mit  
einer Steuereinrichtung mit dem erfindungsgemäß generierten  
Modell gelöst. Die Vorteile dieser Lösungen entsprechen den  
oben mit Bezug auf das beanspruchte Verfahren genannten  
15 Vorteilen.

Darüber hinaus bewirkt eine in dem Regelungssystem  
vorgesehene Regeleinrichtung vorteilhafterweise eine  
zusätzliche Präzisierung beziehungsweise Korrektur der  
20 Stellgröße, so dass mit Hilfe dieser Regeleinrichtung die  
Regelgröße noch präziser auf den jeweils vorgegebenen  
Sollwert eingeregelt werden kann. Bei Verwendung einer  
Steuereinrichtung mit dem erfindungsgemäß generierten  
Modell muss diese Regeleinrichtung lediglich kleine  
25 Abweichungen der Regelgröße von dem Sollwert  
beziehungsweise einer vorgegebenen Soll-Trajektorie  
ausregeln; sie ist deshalb insbesondere im Vergleich zu  
bekannten Kennfeld-basierten Regeleinrichtungen entlastet  
und deshalb sehr robust.

30 Weil das Modell - zumindest in der Regel - im gesamten  
Betriebsbereich der Regelstrecke Gültigkeit hat, brauchen  
bei der Regeleinrichtung auch nur lediglich deren jeweilige  
Reglerparameter für den gesamten Betriebbereich der  
35 Regelstrecke einmalig eingestellt zu werden. Eine ständige

Anpassung der Reglerparameter an immer wieder neue Arbeitspunkte der Regelstrecke ist bei Verwendung des erfindungsgemäß generierten Modells für die Steuereinrichtung entbehrlich.

5

#### Zeichnungen

Der Beschreibung sind insgesamt drei Figuren beigefügt, wobei

10

Figur 1 ein Steuerungssystem gemäß der Erfindung;

Figur 2 das erfindungsgemäße Verfahren; und

15

Figur 3 ein Regelungssystem gemäß der Erfindung

zeigt.

#### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

20

Die Erfindung wird nachfolgend in Form von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die genannten Figuren detailliert beschrieben.

25

In Figur 1 ist ein Steuerungssystem 100 zur Steuerung einer Regelgröße  $y$  gezeigt. Dieses Steuerungssystem 100 umfasst eine Sollwert-Vorgabeeinrichtung 110 zum Vorgeben von mindestens einem Sollwert  $y_d$  für die Regelgröße  $y$ , insbesondere in Form einer Trajektorienfolge. Bei dem in

30

Figur 1 gezeigten Beispiel erzeugt die Sollwert-Vorgabeeinrichtung 110  $n+1$  Sollwerte in Form eines Sollwertes  $y_d$  und dessen erster bis  $n$ -ter zeitlicher Ableitung.

Weiterhin umfasst das Steuerungssystem 100 eine Steuereinrichtung 120 zum Umsetzen dieser Sollwerte in mindestens eine Stellgröße  $u_d$ . Diese Stellgröße  $u_d$  dient als Eingangsgröße für eine Regelstrecke 130 zum Steuern der Regelgröße  $y$  am Ausgang der Regelstrecke.

Die Stellgröße  $u_d$  ist von der Steuereinrichtung 120 so zu dimensionieren, dass die Regelgröße  $y$  am Ausgang der Regelstrecke 130 auf den von der Sollwert-  
10 Vorgabeeinrichtung 110 ausgegebenen Sollwert  $y_d$  eingestellt wird. Dazu ist es erforderlich, dass die Steuereinrichtung 120 geeignet ausgebildet wird. Diese geeignete Ausbildung der Steuereinrichtung 120 ist Gegenstand der Erfindung und wird nachfolgend detailliert beschrieben.

15 In Figur 2 sind die einzelnen Verfahrensschritte zur Generierung eines geeigneten mathematischen Modells zur Beschreibung des funktionalen Verhaltens der Steuereinrichtung 120 detailliert beschrieben. Dabei wird 20 vorausgesetzt, dass ein mathematisches Modell in Form physikalischer Modellgleichungen für die Regelstrecke 130 bekannt ist. Vorzugsweise enthalten diese Modellgleichungen für die Regelstrecke 130 lediglich die für die Regelung entscheidenden dynamischen Effekte. Die Modellgleichungen 25 werden in der Regel aus Erhaltungssätzen beziehungsweise Axiomen gewonnen und sind typischerweise in der folgenden Form darstellbar:

$$\dot{x} = f(x, u), \quad x(0) = x_0 \in \mathbb{R}^n, \quad u \in \mathbb{R}^m \quad (1)$$

30

wobei

$x$  einen Zustandsvektor repräsentiert, der vorzugsweise lediglich die aus

regelungstechnischer Sicht notwendigen Zustandsgrößen umfasst;

u einen Stellvektor repräsentiert, welcher mindestens eine Stellgröße umfasst;

5 f eine beliebige mathematische Funktion, insbesondere eine Differenzialgleichung repräsentiert;

$x_1(0)$  eine Zustandsgröße zum Zeitpunkt  $t = 0$  repräsentiert; und

10  $x_0$  einen Anfangswert repräsentiert.

Alle Zustandsgrößen  $x_i$  als Komponenten des Zustandsvektors sowie auch alle Stellgrößen u sind grundsätzlich zeitabhängige Größen.

15 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Berechnung eines mathematischen Modells für die Steuereinrichtung 120 soll nachfolgend am Beispiel für die Steuerung beziehungsweise Regelung einer Regelstrecke 130 mit nicht-linearem

20 Verhalten erläutert werden. Bei der Strecke handelt es sich beispielhaft um eine von einem Elektromotor bewegte Masse. Das Verhalten dieser Regelstrecke kann durch folgendes nicht lineares Differenzialgleichungssystem dargestellt werden:

25

$$\dot{x}_1 = x_2 \quad (2a)$$

$$\dot{x}_2 = -x_1^2 - x_2 + x_3 \quad (2b)$$

$$\dot{x}_3 = -ax_3 - x_2 + u_d \quad (2c)$$

30 In diesem Differenzialgleichungssystem wird ein Zustandsvektor x mit drei Zustandsgrößen  $x_1$ ,  $x_2$  und  $x_3$  zur Beschreibung des funktionalen Verhaltens der Regelstrecke verwendet. Aufgrund der Verwendung von drei Zustandsgrößen spricht man bei der Regelstrecke auch von einem System

dritter Ordnung. Für die genannte Regelstrecke bezeichnet die Zustandsgröße  $x_1$  den von der Masse zurückgelegten Weg, die Zustandsgröße  $x_2$  die Geschwindigkeit der Masse und die Zustandsgröße  $x_3$  den Strom in dem Elektromotor. Der

5 Parameter  $a$  in Gleichung 2c ist ein Modellparameter. Die besagte Regelstrecke umfasst weiterhin eine nicht-lineare Feder, welche durch den quadratischen Term in Gleichung 2b beschrieben ist. Alle Zustände  $x_i$  mit  $i = 1 \dots N=3$ , der Parameter  $a$  sowie die Stellgröße  $u$  sind normiert und somit

10 dimensionslos.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren am Beispiel der Berechnung eines Modells für eine Steuereinrichtung, welche abgestimmt ist auf eine Regelstrecke mit dem in den

15 Gleichungen 2a - 2c beschriebenen funktionalen Verhalten, erläutert.

Dazu wird zunächst, wie in Figur 2 dargestellt, die zu regelnde Zustandsgröße  $x_1$  aus den Komponenten des

20 Zustandsvektors  $x$  ausgewählt. Beispielhaft soll hier die Zustandsgröße  $x_1$ , also der von der Masse zurückgelegte Weg, als Regelgröße  $y$  ausgewählt werden. Mathematisch lässt sich diese Auswahl durch die folgende einfache Gleichung (3) beschreiben:

25

$$y = x_1 \quad (3)$$

Nachfolgend sieht das erfindungsgemäße Verfahren gemäß

Figur 2 vor, dass die ersten  $N$  Ableitungen  $(\dot{y}, \ddot{y}, \dots, \overset{(N)}{y})$  der

30 Regelgröße  $y$  gebildet werden.

In dem genannten konkreten Beispiel mit einer Regelstrecke dritter Ordnung  $N=3$  werden also die erste, zweite und dritte Ableitung gebildet. Diese berechnen sich unter

Berücksichtigung der Differentialgleichungen 2a, 2b und 2c des Modells der Regelstrecke 130 wie folgt:

$$y = x_1 \quad (3)$$

$$5 \quad \dot{y} = \dot{x}_1 = x_2 \quad (4)$$

$$\ddot{y} = \ddot{x}_2 = -x_1^2 - x_2 + x_3 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \ddot{y} &= \ddot{x}_2 = -2x_1\dot{x}_1 - \dot{x}_2 + \dot{x}_3 \\ &= -2x_1x_2 - (-x_1^2 - x_2 + x_3) + (-\alpha x_3 - x_2 + u_d) \\ &= x_1^2 - 2x_1x_2 + (1-\alpha)x_3 + u_d \end{aligned} \quad (6)$$

(6)

10 Die Gleichungen (3), (4) und (5) repräsentieren ein Gleichungssystem mit drei Gleichungen und den drei Zustandsvariablen  $x_1$ ,  $x_2$  und  $x_3$ . Das erfindungsgemäße Verfahren sieht nun vor, dass dieses Gleichungssystem dazu verwendet wird, den Zustandsvektor  $x = [x_1, x_2, x_3]^T$  zu berechnen. Die einzelnen Zustandsgrößen  $x_i$  mit  $i = 1 - 3$  als Komponenten dieses Zustandsvektors berechnen sich durch Lösen dieses Gleichungssystems. Für das besagte Beispiel berechnet sich der Zustandsvektor  $x$  mit der beschriebenen Vorgehensweise wie folgt:

15

20

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y \\ \dot{y} \\ y^2 + \dot{y} + \ddot{y} \end{bmatrix} \quad (7)$$

25 Vorteilhafterweise sind die einzelnen Zustandsgrößen  $x_i$  bei der Darstellung gemäß Gleichung 7 jeweils als mathematische Funktion von nur noch der Regelgröße  $y$  und/oder deren zeitlichen Ableitungen  $(\dot{y}, \ddot{y}, \dots, \overset{(n)}{y})$  dargestellt.

Generell sieht das erfindungsgemäße Verfahren dann weiterhin vor, dass eventuell vorhandene Zustandsgrößen  $x_i$  in der  $N'$ ten Ableitung  $\overset{(N)}{y}$  der Regelgröße  $y$  durch ihre jeweils äquivalenten Darstellungen in Abhängigkeit der 5 Regelgröße  $y$  oder deren zeitliche Ableitungen gemäß Gleichung 7 ersetzt werden.

Bei Anwendung dieser Vorgehensweise auf das Beispiel muss in der  $N=3$ 'ten Ableitung der Regelgröße gemäß Gleichung (6) 10 eine entsprechende Ersetzung vorgenommen werden. Gleichung (6) wird dann unter Berücksichtigung von Gleichung (7) wie folgt umgeformt:

$$\ddot{y} = u_d - \dot{y} - 2y\dot{y} - \ddot{y} - a(y^2 + \dot{y} + \ddot{y}) \quad (8)$$

15 Eine Auflösung der Gleichung (8) nach der Stellgröße  $u$  führt direkt auf das gesuchte Modell für die Steuerung 120, wenn die zu steuernde Regelstrecke 130 das durch die Gleichungen 2a, 2b und 2c beschriebene funktionale 20 Verhalten zeigt. Das mathematische Modell für die Steuereinrichtung 120 beschreibt dann die Stellgröße  $u$  als Ausgangsgröße der Steuereinrichtung 120 in funktionaler 25 Abhängigkeit ihrer Eingangsgrößen, d.h. der vorgegebenen Sollwerte für die Regelgröße  $y$ . Das Modell für die Steuereinrichtung lässt sich dann für die beispielhaft erwähnte Regelstrecke wie folgt darstellen:

$$u_d = \dot{y} + \ddot{y} + \ddot{y} + 2y\dot{y} + a(\dot{y} + \ddot{y} + y^2) \quad (9)$$

30 Gleichung (9) als Modell der Steuereinrichtung repräsentiert in der Darstellung  $u_d=f(y)$  eine Invertierung des Modells der Regelstrecke 130, welches typischerweise in

der Form  $y=g(u_d)$  dargestellt wird, vgl. Gleichungen (3) bis (6).

Die hier beispielhaft durch die Gleichungen 2a, 2b und 2c beschriebene Regelstrecke in Form einer durch einen Elektromotor bewegten Masse diente lediglich zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Grundsätzlich ist das erfindungsgemäße Verfahren auf jede Art von Regelstrecken anwendbar, deren funktionales Verhalten durch physikalisch motivierte auch nicht-lineare Modellgleichung beschreibbar ist. Das gilt insbesondere auch für ein Luftpfasystem einer Brennkraftmaschine als Regelstrecke. Zusätzlich oder alternativ zum Luftpfasystem, insbesondere mit Ladedruck-, Abgasrückführ- und Füllungsregelung sowie Lambdaregelung, kann auch jede beliebige andere Funktion im Bereich Motormanagement als Regelstrecke gewählt werden. Dies ist beispielsweise das Einspritzsystem, insbesondere mit Raildruckregelung, Druckwellenkompensation, Zylinderdruckregelung und Brennbeginnregelung, eine Motordrehzahlregelung mit insbesondere Leerlaufregelung, Ruckel- und Lastschlagdämpfung oder eine Drehmomentregelung. Im Falle der Verwendung des Luftpfasystems als Regelstrecke kann eine solche Regelstrecke durch geeignet gewählte Modellgleichungen unter Verwendung der Zustandsgrößen Saugrohrdruck, Masse der Luft im Saugrohr und Temperatur der Luft im Saugrohr nachgebildet werden. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Berechnung eines geeigneten Modells für eine Steuereinrichtung ist insbesondere auch für ein Modell einer derartigen Regelstrecke anwendbar.

Eine zusätzliche beziehungsweise weitergehende Stabilisierung der Regelgröße im Hinblick auf den vorgegebenen Sollwert beziehungsweise die vorgegebene Trajektorienfolge lässt sich durch eine zu der

Steuereinrichtung 120 parallel geschaltete Regeleinrichtung 150 realisieren, wie dies in Figur 3 veranschaulicht ist. Das in Figur 3 dargestellte Regelungssystem basiert auf dem in Figur 1 dargestellten Steuerungssystem, wobei das

5 funktionale Verhalten der Steuereinrichtung 120 durch ein mathematisches Modell beschrieben wird, welches vorzugsweise gemäß der vorliegenden Erfindung generiert wurde. Neben dem Steuerungssystem 100 umfasst das

10 Regelungssystem gemäß Figur 3 jedoch noch zusätzlich die besagte Regeleinrichtung 150. Dabei kann es sich um einen beliebigen Regler, zum Beispiel um einen PIDT<sub>1</sub>-Regler handeln. Ihm wird eine Regelabweichung  $e$  zwischen der Regelgröße  $y$  am Ausgang der Regelstrecke 130 und dem vorgegebenen Sollwert  $y_s$  für die Regelgröße als

15 Eingangsgröße zugeführt. Mathematisch berechnet sich die Regelabweichung  $e$  wie folgt:

$$e(t) = y_s(t) - y(t) \quad (10)$$

20 Die Regeleinrichtung 150 generiert dann nach Maßgabe der Regelabweichung  $e$  unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Reglerparameter  $K_p$ ,  $K_I$ ,  $K_D$  und/oder  $T_1$  geeignete Korrekturanteile für die Stellgröße  $u$ . Ein proportionaler Korrekturanteil  $u_p$  für die Stellgröße  $u$  berechnet sich wie

25 folgt:

$$u_p = K_p \cdot e \quad (11)$$

wobei

30

$K_p$  den Reglerparameter für den proportionalen Korrekturanteil

repräsentiert.

Ein integraler Regelanteil  $u_I$  berechnet sich typischerweise wie folgt:

$$5 \quad u_I = K_I \int_0^t e(\tau) d\tau, \quad u_I(0) = u_I^0 \quad (12)$$

wobei

10  $K_I$  den Reglerparameter für den integralen Korrekturanteil; und  
 $u_I^0$  einen Anfangswert für den integralen Regelanteil  
 repräsentiert.

15 Wenn die Regeleinrichtung 150 zusätzlich auch einen differenziellen Regelanteil umfasst, dann berechnet sich dieser typischerweise wie folgt:

$$T_d \dot{u}_d + u_d = K_d \dot{e}, \quad u_d(0) = u_d^0 \quad (13)$$

wobei

20  $K_d$  den Reglerparameter für den differenziellen Regelanteil; und  
 $u_d^0$  einen Anfangswert für den differenziellen Regelanteil  
 repräsentiert.

30 Wenn die Regeleinrichtung 150 tatsächlich sowohl einen Proportionalanteil wie auch einen Integral- und Differenzialanteil umfasst, dann berechnet sich der

Korrekturanteil  $u_{ctrl}$  für die Stellgröße  $u$  als Summe aus diesen Anteilen wie folgt:

$$u_{ctrl} = u_p + u_i + u_d \quad (14)$$

5

wobei

10  $u_p$  den proportionalen Regelanteil;  
 $u_i$  den integralen Regelanteil; und  
 $u_d$  den differenziellen Regelanteil

repräsentiert.

15 Der so berechnete Gesamt-Korrekturanteil  $u_{ctrl}$  der Stellgröße  $u$  wird dann mit Hilfe einer Additions- oder Subtraktionseinrichtung 140 zu der von der Steuereinrichtung 120 berechneten Stellgröße  $u_d$  hinzuaddiert, um aus dieser Addition schließlich eine resultierende korrigierte Stellgröße  $u$  zu gewinnen. Die 20 korrigierte Stellgröße bewirkt im Unterschied zu der von der Steuereinrichtung 120 bereitgestellten Stellgröße eine noch präzisere Einreglung der Regelgröße  $y$  auf die Soll-Größe  $y_s$ .

25 Das erfundungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise in Form eines Computerprogramms realisiert. Das Computerprogramm kann gegebenenfalls zusammen mit weiteren Computerprogrammen auf einem computerlesbaren Datenträger abgespeichert sein. Bei dem Datenträger kann es sich um 30 eine Diskette, eine Compact Disc, einen sogenannten Flash-Memory oder dergleichen handeln. Das auf dem Datenträger abgespeicherte Computerprogramm kann dann als Produkt an einen Kunden übertragen oder verkauft werden. Alternativ zu einer Übertragung per Datenträger ist auch eine Übertragung

des Computerprogramms über ein elektronisches  
Kommunikationsnetzwerk, insbesondere das Internet möglich.

## 10 Ansprüche

1. Verfahren zum Generieren eines Modells für das funktionale Verhalten einer Steuereinrichtung (120), wobei die Steuereinrichtung (120) ausgebildet ist zum Berechnen einer geeigneten Stellgröße ( $u_d$ ) für eine nachgeschaltete Regelstrecke (130), insbesondere eines Luftpfadsystems einer Brennkraftmaschine, im Ansprechen auf einen vorgegebenen Sollwert ( $y_d$ ) für mindestens eine Regelgröße ( $y$ ) der Regelstrecke (130); umfassend die Schritte:
  - Vorgeben eines Modells, welches das funktionale Verhalten der Regelstrecke (130) mit Hilfe von Zustandsgrößen ( $x_i$ ) repräsentiert, wobei eine der Zustandsgrößen ( $x_i$  mit  $i=1\dots N$ ) die Regelgröße ( $y$ ) repräsentiert; und
  - Generieren des Modells für die Steuereinrichtung (120) durch Invertieren des Modells für die Regelstrecke (130); dadurch gekennzeichnet, dass die Invertierung folgende Schritte umfasst:
    - Berechnen einer Gleichung für die  $N$ te Ableitung ( $y^{(N)}$ ) für die Regelgröße ( $y$ ) als Funktion der Stellgröße ( $u_d$ ) und der Regelgröße ( $y$ ) selber und/oder deren zeitlichen Ableitungen  $n$ ter Ordnung ( $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(n)}$ ); und
    - Generieren des Modells für die Steuereinrichtung (120)

durch Auflösen der Gleichung für die N'te Ableitung  $(y^{(N)})$  für die Regelgröße  $(y)$  nach der Stellgröße  $(u_d)$ .

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
 5 dass die Berechnung der N'ten Ableitung der Regelgröße folgende Schritte umfasst:

- Auswählen einer der Zustandsgrößen ( $x_i$  mit  $i = 1 \dots N$ ) als Regelgröße  $(y)$ ;
- Berechnen der 1, 2, ... bis N'ten Ableitung  $(\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(N)})$  der Regelgröße  $(y)$  nach der Zeit als Funktion der Zustandsgrößen  $(x_i)$  und eventuell der Stellgröße  $(u_d)$ ;
- Berechnen jeder der einzelnen Zustandsgrößen  $(x_i$  mit  $i=1 \dots N)$  als Funktion der Regelgröße und/oder deren zeitlichen Ableitungen  $(\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(N-1)})$  durch Umformen der Gleichungen für die Ableitungen der Regelgröße;
- Umformen der N'ten Ableitung der Regelgröße  $(y)$  durch Eliminieren aller Zustandsgrößen  $(x_i)$  in der N'ten Ableitung  $(y^{(N)})$  der Regelgröße durch Ersetzen dieser Zustandsgrößen  $(x_i)$  dort durch ihre entsprechenden Funktionen in Abhängigkeit der Regelgröße  $(y)$  und/oder deren zeitlichen Ableitungen 1, ..., N-1'ter Ordnung  $(\dot{y}, \ddot{y}, \dots, y^{(N-1)})$ ; und
- Generieren des Modells für die Steuereinrichtung (120) durch Auflösen der umgeformten N'ten Ableitung  $(y^{(N)})$  der Regelgröße  $(y)$  nach der Stellgröße  $(u_d)$ .

3. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Modell der Regelstrecke (130) das funktionale Verhalten der Regelstrecke nur insoweit mit Hilfe von Modellgleichungen abbildet, als dass

das Verhalten für eine Steuerung beziehungsweise Regelung der Regelgröße relevant ist.

4. Computerprogramm mit Programmcode für ein Steuerungs- oder Regelungssystem dadurch gekennzeichnet, dass das
- 5 Computerprogramm ausgebildet ist zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 3.
5. Datenträger gekennzeichnet durch das Computerprogramm nach Anspruch 4.
6. Steuerungssystem (100) zur Steuerung einer Regelgröße
- 10 (y), umfassend:
  - eine Sollwertvorgabeeinrichtung (110) zum Vorgeben von mindestens einem Sollwert ( $y_d$ ) für die Regelgröße (y), insbesondere in Form einer Trajektorienfolge;
  - eine Steuereinrichtung (120) zum Umsetzen des Sollwertes
  - 15 ( $y_d$ ) in mindestens eine Stellgröße ( $u_d$ ); und
  - eine Regelstrecke (130) zum Steuern der Regelgröße (y) an ihrem Ausgang im Ansprechen auf die Stellgröße ( $u_d$ ) so, dass die Regelgröße (y) auf den Sollwert ( $y_d$ ) eingeregelt wird;
- 20 wobei das funktionale Verhalten der Regelstrecke (130) und der Steuereinrichtung (120) jeweils durch eigene Modelle repräsentiert wird und das Modell für die Steuereinrichtung (120) dem inversen Modell für die Regelstrecke (130) entspricht;
- 25 **dadurch gekennzeichnet, dass**  
das Modell für die Steuereinrichtung (120) gebildet ist durch:
  - Berechnen der N'ten Ableitung für die Regelgröße als Funktion der Stellgröße und der Regelgröße selber und/oder
- 30 deren zeitlichen Ableitungen n'ter Ordnung mit  $n=1\dots N-1$ ;  
und
  - Generieren des Modells für die Steuereinrichtung durch

Auflösen der N'ten Ableitung für die Regelgröße nach der Stellgröße.

7. Regelungssystem zum Regeln einer Regelgröße, umfassend:

5 ein Steuerungssystem nach Anspruch 6;  
eine Regeleinrichtung (150) zum Berechnen eines Korrekturanteils ( $u_{ctrl}$ ) für die Stellgröße aus einer empfangenen Regelabweichung ( $e$ ) zwischen der Regelgröße ( $y$ ) am Ausgang der Regelstrecke (130) und dem Sollwert ( $y_d$ );  
10 und  
eine Additions- beziehungsweise Subtraktionseinrichtung (140) zum Berechnen einer korrigierten Stellgröße ( $u$ ) für die Regelstrecke (130) durch Addieren des Korrekturanteils ( $u_{ctrl}$ ) für die Stellgröße zu der von der Steuereinrichtung  
15 berechneten Stellgröße ( $u_d$ ).

1 / 2

Fig. 1

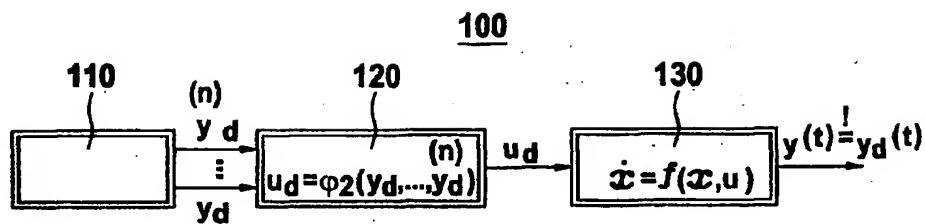
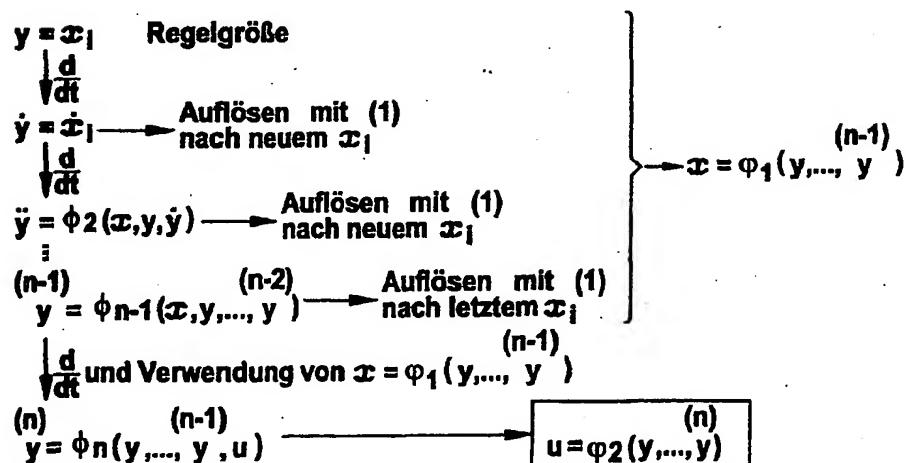
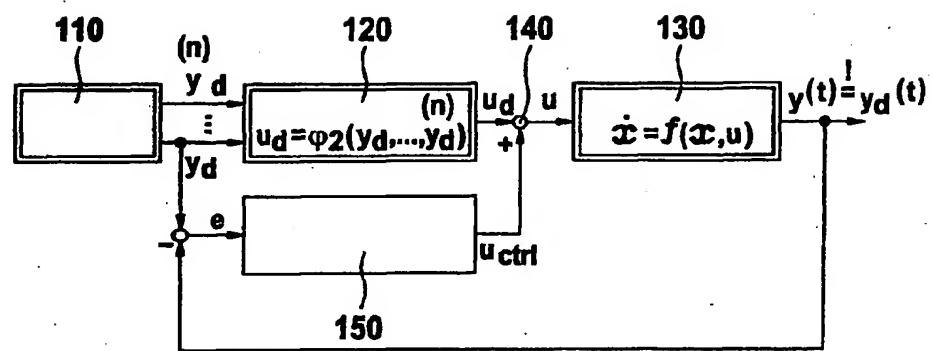


Fig. 2



2 / 2

Fig. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/050177

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G05B17/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	MARTIN SUNDIN: "Bahn- und Gelenkregelalgorithmen für den "Modularen Roboter"" 1 August 1993 (1993-08-01), ETH ZÜRICH , ZÜRICH , XP002319977 page 7 - page 36	1-7
A	REYES A F ET AL: "Experimental evaluation of model-based controllers on a direct-drive robot arm" 1 April 2001 (2001-04-01), MECHATRONICS, PERGAMON PRESS, OXFORD, GB, PAGE(S) 267-282 , XP004229346 ISSN: 0957-4158 the whole document	1-7 -/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the International filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

7 March 2005

Date of mailing of the International search report

18/03/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sundin, M

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International Application No  
PCT/EP2005/050177

**C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 912 753 A (EVANS, JR. ET AL) 27 March 1990 (1990-03-27) cited in the application the whole document	1-7

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

## Information on patent family members

International Application No

PCT/EP2005/050177

Patent document cited in search report	Publication date		Patent family member(s)	Publication date
US 4912753	A 27-03-1990	DE	68909574 D1	04-11-1993
		DE	68909574 T2	05-05-1994
		EP	0375749 A1	04-07-1990
		IL	89756 A	15-07-1992
		JP	3500101 T	10-01-1991
		WO	8909953 A1	19-10-1989

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/050177

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 G05B17/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>o</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	MARTIN SUNDIN: "Bahn- und Gelenkregelalgorithmen für den "Modularen Roboter"" 1. August 1993 (1993-08-01), ETH ZÜRICH , ZÜRICH , XP002319977 Seite 7 - Seite 36	1-7
A	REYES A F ET AL: "Experimental evaluation of model-based controllers on a direct-drive robot arm" 1. April 2001 (2001-04-01), MECHATRONICS, PERGAMON PRESS, OXFORD, GB, PAGE(S) 267-282 , XP004229346 ISSN: 0957-4158 das ganze Dokument	1-7

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

7. März 2005

18/03/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 851 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Sundin, M

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationales Aktenzeichen  
**PCT/EP2005/050177**

<b>C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
<b>Kategorie*</b>	<b>Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile</b>	<b>Betr. Anspruch Nr.</b>
A	US 4 912 753 A (EVANS, JR. ET AL) 27. März 1990 (1990-03-27) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument	1-7

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

**PCT/EP2005/050177**

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4912753	A 27-03-1990	DE 68909574 D1	04-11-1993
		DE 68909574 T2	05-05-1994
		EP 0375749 A1	04-07-1990
		IL 89756 A	15-07-1992
		JP 3500101 T	10-01-1991
		WO 8909953 A1	19-10-1989

**PATENT COOPERATION TREATY**  
**PCT**

**INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY**  
(Chapter II of the Patent Cooperation Treaty)

**(PCT Article 36 and Rule 70)**

Applicant's or agent's file reference <b>306468</b>	<b>FOR FURTHER ACTION</b>	See Form PCT/IPEA/416
International application No. <b>PCT/EP2005/050177</b>	International filing date (day/month/year) <b>17.01.2005</b>	Priority date (day/month/year) <b>15.01.2004</b>
International Patent Classification (IPC) or national classification and IPC <b>G05B17/00</b>		
Applicant <b>ROBERT BOSCH GMBH</b>		

1. This report is the international preliminary examination report, established by this International Preliminary Examining Authority under Article 35 and transmitted to the applicant according to Article 36.

2. This REPORT consists of a total of 4 sheets, including this cover sheet.

3. This report is also accompanied by ANNEXES, comprising:

a.  (sent to the applicant and to the International Bureau) a total of 3 sheets, as follows:

sheets of the description, claims and/or drawings which have been amended and are the basis for this report and/or sheets containing rectifications authorized by this Authority (see Rule 70.16 and Section 607 of the Administrative Instructions).

sheets which supersede earlier sheets, but which this Authority considers contain an amendment that goes beyond the disclosure in the international application as filed, as indicated in item 4 of Box No. I and the Supplemental Box.

b.  (sent to the International Bureau only) a total of (indicate type and number of electronic carrier(s)) \_\_\_\_\_, containing a sequence listing and/or tables related thereto, in computer readable form only, as indicated in the Supplemental Box Relating to Sequence Listing (see Section 802 of the Administrative Instructions).

4. This report contains indications relating to the following items:

<input checked="" type="checkbox"/>	Box No. I	Basis of the report
<input type="checkbox"/>	Box No. II	Priority
<input type="checkbox"/>	Box No. III	Non-establishment of opinion with regard to novelty, inventive step and industrial applicability
<input type="checkbox"/>	Box No. IV	Lack of unity of invention
<input checked="" type="checkbox"/>	Box No. V	Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement
<input type="checkbox"/>	Box No. VI	Certain documents cited
<input type="checkbox"/>	Box No. VII	Certain defects in the international application
<input type="checkbox"/>	Box No. VIII	Certain observations on the international application

Date of submission of the demand	Date of completion of this report
Name and mailing address of the IPEA/EP	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

International application No.

PCT/EP2005/050177

## Box No. I Basis of the report

1. With regard to the language, this report is based on the international application in the language in which it was filed, unless otherwise indicated under this item.

This report is based on translations from the original language into the following language \_\_\_\_\_ which is the language of a translation furnished for the purposes of:

international search (Rule 12.3 and 23.1(b))  
 publication of the international application (Rule 12.4)  
 international preliminary examination (Rule 55.2 and/or 55.3)

2. With regard to the elements of the international application, this report is based on (*replacement sheets which have been furnished to the receiving Office in response to an invitation under Article 14 are referred to in this report as "originally filed" and are not annexed to this report*):

the international application as originally filed/furnished  
 the description:  
 pages 2-15 as originally filed/furnished  
 pages\* 1 received by this Authority on 02.05.2006 with letter of 28.04.2006  
 pages\* \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_

the claims:  
 nos. \_\_\_\_\_ as originally filed/furnished  
 nos.\* \_\_\_\_\_ as amended (together with any statement) under Article 19  
 nos.\* 1-4 received by this Authority on 02.05.2006 with letter of 28.04.2006  
 nos.\* \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_

the drawings:  
 sheets 1/2, 2/2 as originally filed/furnished  
 sheets\* \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_  
 sheets\* \_\_\_\_\_ received by this Authority on \_\_\_\_\_

a sequence listing and/or any related table(s) – see Supplemental Box Relating to Sequence Listing.

3.  The amendments have resulted in the cancellation of:

the description, pages \_\_\_\_\_  
 the claims, nos. \_\_\_\_\_  
 the drawings, sheets/figs \_\_\_\_\_  
 the sequence listing (*specify*): \_\_\_\_\_  
 any table(s) related to sequence listing (*specify*): \_\_\_\_\_

4.  This report has been established as if (some of) the amendments annexed to this report and listed below had not been made, since they have been considered to go beyond the disclosure as filed, as indicated in the Supplemental Box (Rule 70.2(c)).

the description, pages \_\_\_\_\_  
 the claims, nos. \_\_\_\_\_  
 the drawings, sheets/figs \_\_\_\_\_  
 the sequence listing (*specify*): \_\_\_\_\_  
 any table(s) related to sequence listing (*specify*): \_\_\_\_\_

\* If item 4 applies, some or all of those sheets may be marked "superseded."

## INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

International application No.  
PCT/EP2005/050177

Box No. V	<b>Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement</b>	
<b>1. Statement</b>		
Novelty (N)	Claims	1 - 4
	Claims	
Inventive step (IS)	Claims	1 - 4
	Claims	
Industrial applicability (IA)	Claims	1 - 4
	Claims	
<b>2. Citations and explanations (Rule 70.7)</b>		
<p>The invention relates to a control system for an airflow system in an internal combustion engine, an injection system, <b>an engine speed control or a torque control</b> with the features of independent claim 1.</p> <p>1. Closest state of the art</p> <p>D1 (WO 89/09953) discloses a method for tracking trajectories of axis positions of a robot. It is assumed therefrom that the controlled system is linear and can be described in the frequency domain by means of a transfer function <math>G(s)</math>. From the trajectory tracking, i.e. the planned target path for the axis movement, a set parameter for the controlled system is determined by means of a control device, the transfer function of which corresponds to the inverse transfer function of the controlled system. In order to more precisely adjust the control parameters to the planned target path, the set parameter is corrected where necessary, by means of a regulator, arranged in parallel to the control device.</p> <p>2. Special feature(s)</p> <p>The features of the characterising part of claim 1.</p>		

INTERNATIONAL PRELIMINARY REPORT ON PATENTABILITY

International application No.  
PCT/EP2005/050177

Box No. V      **Reasoned statement under Article 35(2) with regard to novelty, inventive step or industrial applicability; citations and explanations supporting such statement**

3. Resolved technical problem

The method disclosed in D1 has the inherent problem of only being applicable to control systems with linear relationships and with only one control parameter. These disadvantages are avoided by means of the special features.

The above solution is neither known nor obvious from the prior art and therefore involves an inventive step.

4. Claims 2-4 are dependent on claim 1 and therefore the subject matter thereof is also novel and involves an inventive step.

5 On pursuance of the application, the description should be made consistent with the modified claims (PCT Rule 5.1(a) (iii)).

**VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM  
GEBIET DES PATENTWESENS**

REC'D 17 MAY 2006

WIPO

PCT

**PCT**

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER BERICHT ÜBER DIE  
PATENTIERBARKEIT**

(Kapitel II des Vertrags über die internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Patentwesens)

Aktenzeichen des Anmelders oder Anwalts 306468	<b>WEITERES VORGEHEN</b>	siehe Formblatt PCT/IPEA/416	
Internationales Aktenzeichen PCT/EP2005/050177	Internationales Anmeldedatum (Tag/Monat/Jahr) 17.01.2005	Prioritätsdatum (Tag/Monat/Jahr) 15.01.2004	
Internationale Patentklassifikation (IPC) oder nationale Klassifikation und IPC INV. G05B17/00			
Anmelder ROBERT BOSCH GMBH et al.			

1. Bei diesem Bericht handelt es sich um den internationalen vorläufigen Prüfungsbericht, der von der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde nach Artikel 35 erstellt wurde und dem Anmelder gemäß Artikel 36 übermittelt wird.
2. Dieser BERICHT umfaßt insgesamt 5 Blätter einschließlich dieses Deckblatts.
3. Außerdem liegen dem Bericht ANLAGEN bei; diese umfassen
  - a.  (an den Anmelder und das Internationale Büro gesandt) insgesamt 3 Blätter; dabei handelt es sich um
    - Blätter mit der Beschreibung, Ansprüchen und/oder Zeichnungen, die geändert wurden und diesem Bericht zugrunde liegen, und/oder Blätter mit Berichtigungen, denen die Behörde zugestimmt hat (siehe Regel 70.16 und Abschnitt 607 der Verwaltungsvorschriften).
    - Blätter, die frühere Blätter ersetzen, die aber aus den in Feld Nr. 1, Punkt 4 und im Zusatzfeld angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde eine Änderung enthalten, die über den Offenbarungsgehalt der internationalen Anmeldung in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgeht.
  - b.  (nur an das Internationale Büro gesandt) insgesamt (bitte Art und Anzahl der/des elektronischen Datenträger(s) angeben), der/die ein Sequenzprotokoll und/oder die dazugehörigen Tabellen enthält/enthalten, nur in elektronischer Form, wie im Zusatzfeld betreffend das Sequenzprotokoll angegeben (siehe Abschnitt 802 der Verwaltungsvorschriften).

4. Dieser Bericht enthält Angaben zu folgenden Punkten:

- Feld Nr. I Grundlage des Berichts
- Feld Nr. II Priorität
- Feld Nr. III Keine Erstellung eines Gutachtens über Neuheit, erfinderische Tätigkeit und gewerbliche Anwendbarkeit
- Feld Nr. IV Mangelnde Einheitlichkeit der Erfindung
- Feld Nr. V Begründete Feststellung nach Artikel 35(2) hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung
- Feld Nr. VI Bestimmte angeführte Unterlagen
- Feld Nr. VII Bestimmte Mängel der internationalen Anmeldung
- Feld Nr. VIII Bestimmte Bemerkungen zur internationalen Anmeldung

Datum der Einreichung des Antrags 15.06.2005	Datum der Fertigstellung dieses Berichts 16.05.2006
Name und Postanschrift der mit der internationalen vorläufigen Prüfung beauftragten Behörde Europäisches Patentamt D-80298 München Tel. +49 89 2399 - 0 Tx: 523656 epmu d Fax: +49 89 2399 - 4465	Bevollmächtigter Bediensteter Sundin, M Tel. +49 89 2399-7697

# **INTERNATIONALER VORLÄUFIGER BERICHT ÜBER DIE PATENTIERBARKEIT**

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/050177

## **Feld Nr. I Grundlage des Berichts**

## 1. Hinsichtlich der Sprache beruht der Bescheid auf

der internationalen Anmeldung in der Sprache, in der sie eingereicht wurde.

einer Übersetzung der internationalen Anmeldung in die folgende Sprache , bei der es sich um die Sprache der Übersetzung handelt, die für folgenden Zweck eingereicht worden ist:

- internationale Recherche (nach Regeln 12.3 a) und 23.1 b))
- Veröffentlichung der internationalen Anmeldung (nach Regel 12.4 a))
- internationale vorläufige Prüfung (nach Regeln 55.2 a) und/oder 55.3 a))

2. Hinsichtlich der **Bestandteile\*** der internationalen Anmeldung beruht der Bericht auf (*Ersatzblätter, die dem Anmeldeamt auf eine Aufforderung nach Artikel 14 hin vorgelegt wurden, gelten im Rahmen dieses Berichts als "ursprünglich eingereicht" und sind ihm nicht beigefügt*):

### **Beschreibung, Seiten**

2-15

in der ursprünglich eingereichten Fassung

1

eingegangen am 02.05.2006 mit Schreiben vom 28.04.2006

### **Ansprüche, Nr.**

1-4

eingegangen am 02.05.2006 mit Schreiben vom 28.04.2006

## **Zeichnungen, Blätter**

12.22

in der ursprünglich eingereichten Fassung

einem Sequenzprotokoll und/oder etwaigen dazugehörigen Tabellen - siehe Zusatzfeld betreffend das Sequenzprotokoll

3.  Aufgrund der Änderungen sind folgende Unterlagen fortgefallen:

- Beschreibung: Seite
- Ansprüche: Nr.
- Zeichnungen: Blatt/Abb.
- Sequenzprotokoll (*genaue Angaben*):
- etwaige zum Sequenzprotokoll gehörende Tabellen (*genaue Angaben*):

4.  Dieser Bericht ist ohne Berücksichtigung (von einigen) der diesem Bericht beigefügten und nachstehend aufgelisteten Änderungen erstellt worden, da diese aus den im Zusatzfeld angegebenen Gründen nach Auffassung der Behörde über den Offenbarungsgehalt in der ursprünglich eingereichten Fassung hinausgehen (Regel 70.2 c)).

- Beschreibung: Seite
- Ansprüche: Nr. „
- Zeichnungen: Blatt/Abb.
- Sequenzprotokoll (*genaue Angaben*):
- etwaige zum Sequenzprotokoll gehörende Tabellen (*genaue Angaben*):

\* Wenn Punkt 4 zutrifft, können einige oder alle dieser Blätter mit der Bemerkung "ersetzt" versehen werden.

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER BERICHT  
ÜBER DIE PATENTIERBARKEIT**

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/050177

**Feld Nr. V Begründete Feststellung nach Artikel 35 (2) hinsichtlich der Neuheit, der erforderlichen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

**1. Feststellung**

Neuheit (N)	Ja: Ansprüche 1-4
	Nein: Ansprüche
Erforderliche Tätigkeit (IS)	Ja: Ansprüche 1-4
	Nein: Ansprüche
Gewerbliche Anwendbarkeit (IA)	Ja: Ansprüche: 1-4
	Nein: Ansprüche:

**2. Unterlagen und Erklärungen (Regel 70.7):**

**siehe Beiblatt**

**Zu Punkt V**

**Begründete Feststellung hinsichtlich der Neuheit, der erfinderischen Tätigkeit und der gewerblichen Anwendbarkeit; Unterlagen und Erklärungen zur Stützung dieser Feststellung**

Die Erfindung betrifft eine Regelstrecke eines Luftpfadsystems einer Brennkraftmaschine, eines Einspritzsystems, **einer Motordrehzahlregelung oder einer Drehmomentregelung** mit den Merkmalen des unabhängigen Anspruchs 1.

**1. Nächster Stand der Technik**

D1 (WO 89/09953) zeigt ein Verfahren zur Trajektorienfolge von Achspositionen eines Roboters. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Regelstrecke linear ist und mit Hilfe einer Übertragungsfunktion  $G(s)$  im Frequenzbereich beschrieben werden kann. Aus der Trajektorienfolge, das heisst dem vorgegebenen Soll-Verlauf der Achsbewegung wird mit Hilfe einer Steuereinrichtung, deren Übertragungsfunktion der inversen Übertragungsfunktion der Regelstrecke entspricht, eine Stellgrösse für die Regelstrecke bestimmt. Um die Regelgrösse noch präziser auf den vorgegebenen Soll-Verlauf einstellen zu können, wird die Stellgrösse erforderlichenfalls mit Hilfe einer parallel zu der Steuereinrichtung geschalteten Regeleinrichtung korrigiert.

**2. Besonderes Merkmal / Besondere Merkmale**

Die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Anspruchs 1.

**3. Gelöste technische Aufgabe**

Dem in D1 offenbarten Verfahren haftet der Nachteil an, dass es nur auf Regelstrecken mit linearem Verhalten und mit nur einer Regelgrösse anwendbar ist. Durch die besonderen Merkmale werden diese Nachteile vermieden.

Diese Lösung ist aus dem vorliegenden Stand der Technik weder bekannt, noch wird sie durch ihn nahegelegt und beruht somit auf einer erfinderischen Tätigkeit.

**4. Die Ansprüche 2-4 sind vom Anspruch 1 abhängig, und folglich ist deren Gegenstände auch neu und beruhen auf einer erfinderischen Tätigkeit.**

**5. Bei einer Weiterverfolgung der Anmeldung wäre die Beschreibung an die**

**INTERNATIONALER VORLÄUFIGER  
BERICHT ZUR PATENTIERBARKEIT  
(BEIBLATT)**

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050177

geänderten Ansprüche anzupassen Regel 5.1 (a) (iii) PCT.

Internationale Patentanmeldung Nr. PCT/EP2005/050177  
ROBERT BOSCH GMBH

28.04.2006  
R. 306468 St/Da

Neue Seite 1 der Beschreibungseinleitung

### Verfahren und Computerprogramm zum Generieren eines Modells für das Verhalten einer Steuereinrichtung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Generieren eines Modells für das funktionale Verhalten einer Steuereinrichtung, wobei die Steuereinrichtung ausgebildet ist zum Berechnen einer geeigneten Stellgröße für eine Regelstrecke, insbesondere eines Luftpfadsystems einer Brennkraftmaschine, im Ansprechen auf einen vorgegebenen Sollwert für eine Regelgröße der Regelstrecke. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Steuerungssystem und ein Regelungssystem jeweils mit einer derartig ausgebildeten Steuereinrichtung. Schließlich betrifft die Erfindung auch einen Datenträger mit dem genannten Computerprogramm.

#### Stand der Technik

Aus der Veröffentlichung „Bahn- und Gelenk-Regelalgorithmen für den „modularen Roboter“, Martin Sundin, 1993“ ist ein lineares Regelmodell bekannt, das ausgehend von einer linearen Differentialgleichung nach Gleichung 3.2.1 nach der Stellgröße  $\tau_s$  gemäß Gleichung 4.3.3 aufgelöst wird.

Aus dem Stand der Technik, insbesondere aus der WO 89/09953 ist ein derartiges Verfahren und sind derartige Systeme grundsätzlich bekannt. Es wird dort ein Verfahren zur Trajektorienfolge von Achspositionen eines Roboters vorgestellt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Regelstrecke linear ist und mit Hilfe einer Übertragungsfunktion  $G(s)$  im Frequenzbereich beschrieben

Internationale Patentanmeldung Nr. PCT/EP2005/050177  
ROBERT BOSCH GMBH

28.04.2006  
R. 306468 St/Da

Neue Ansprüche 1 bis 47

1. Steuerungssystem (100) zur Steuerung einer Regelgröße (y), umfassend:
  - eine Sollwertvorgabeeinrichtung (110) zum Vorgeben von mindestens einem Sollwert ( $y_d$ ) für die Regelgröße (y), insbesondere in Form einer Trajektorienfolge;
  - eine Steuereinrichtung (120) zum Umsetzen des Sollwertes ( $y_d$ ) in mindestens eine Stellgröße ( $u_d$ ); und
  - eine Regelstrecke (130) eines Luftpfadsystems einer Brennkraftmaschine, eines Einspritzsystems, einer Motordrehzahlregelung oder einer Drehmomentregelung zum Steuern der Regelgröße (y) an ihrem Ausgang im Ansprechen auf die Stellgröße ( $u_d$ ) so, dass die Regelgröße (y) auf den Sollwert ( $y_d$ ) eingeregelt wird;wobei das funktionale Verhalten der Regelstrecke (130) und der Steuereinrichtung (120) jeweils durch eigene Modelle repräsentiert wird und das Modell für die Steuereinrichtung (120) dem inversen Modell für die Regelstrecke (130) entspricht;  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Modell für die Steuereinrichtung (120) gebildet ist durch:
  - Vorgeben eines Modells, welches das funktionale Verhalten der Regelstrecke (130) mit Hilfe von N Zustandsgrößen ( $x_i$  mit  $i=1\dots N$ ) in N Differentialgleichungen repräsentiert, wobei eine der Zustandsgrößen ( $x_i$  mit  $i=1\dots N$ ) die Regelgröße (y) repräsentiert; und
  - Generieren des Modells für die Steuereinrichtung (120) durch Invertieren des Modells für die Regelstrecke (130), wobei  
die Invertierung folgende Schritte umfasst:
    - Bilden von Ableitungen n'ter Ordnung ( $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, \dot{y}^{(N)}$ ) für die Regelgröße (y) unter Verwendung der Differentialgleichungen,
    - Auflösen des sich bildenden Gleichungssystems der Ableitungen n'ter Ordnung ( $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, \dot{y}^{(N)}$ ) durch Bilden einer Gleichung für die N'te Ableitung für die Regelgröße als Funktion der Stellgröße und der Regelgröße selber und/oder deren zeitlichen Ableitungen n'ter Ordnung mit  $n=1\dots N-1$ ; und
    - Generieren des Modells für die Steuereinrichtung durch Auflösen der N'ten Ableitung für die Regelgröße nach der Stellgröße.

Internationale Patentanmeldung Nr. PCT/EP2005/050177  
ROBERT BOSCH GMBH

28.04.2006  
R. 306468 St/Da

2. Steuerungssystem (100) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Modell für die Steuereinrichtung (120) ferner gebildet ist durch folgende Schritte für die Berechnung der N'ten Ableitung der Regelgröße:
  - Auswählen einer der Zustandsgrößen ( $x_i$  mit  $i = 1 \dots N$ ) als Regelgröße ( $y$ );
  - Berechnen der 1, 2, ... bis N'ten Ableitung ( $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, \overset{(N)}{y}$ ) der Regelgröße ( $y$ ) nach der Zeit als Funktion der Zustandsgrößen ( $x_i$ ) und eventuell der Stellgröße ( $u_d$ );
  - Berechnen jeder der einzelnen Zustandsgrößen ( $x_i$  mit  $i=1 \dots N$ ) als Funktion der Regelgröße und/oder deren zeitlichen Ableitungen ( $\dot{y}, \ddot{y}, \dots, \overset{(N-1)}{y}$ ) durch Umformen der Gleichungen für die Ableitungen der Regelgröße;
  - Umformen der N'ten Ableitung der Regelgröße ( $y$ ) durch Eliminieren aller Zustandsgrößen ( $x_i$ ) in der N'ten Ableitung ( $\overset{(N)}{y}$ ) der Regelgröße durch Ersetzen dieser Zustandsgrößen ( $x_i$ ) dort durch ihre entsprechenden Funktionen in Abhängigkeit der Regelgröße ( $y$ ) und/oder deren zeitlichen Ableitungen 1, ..., N-1'ter Ordnung ( $\overset{(N-1)}{y}, \overset{(N-2)}{y}, \dots, \overset{(1)}{y}$ ); und
  - Generieren des Modells für die Steuereinrichtung (120) durch Auflösen der umgeformten N'ten Ableitung ( $\overset{(N)}{y}$ ) der Regelgröße ( $y$ ) nach der Stellgröße ( $u_d$ ).
3. Steuerungssystem (100) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Modell der Regelstrecke (130) das funktionale Verhalten der Regelstrecke nur insoweit mit Hilfe von Modellgleichungen abbildet, als dass das Verhalten für eine Steuerung beziehungsweise Regelung der Regelgröße relevant ist.
4. Regelungssystem zum Regeln einer Regelgröße, umfassend:  
ein Steuerungssystem nach einem der vorherigen Ansprüche;  
eine Regeleinrichtung (150) zum Berechnen eines Korrekturanteils ( $u_{cor}$ ) für die Stellgröße aus einer empfangenen Regelabweichung ( $e$ ) zwischen der Regelgröße ( $y$ ) am Ausgang der Regelstrecke (130) und dem Sollwert ( $y_s$ ); und  
eine Additions- bzw. Subtraktionseinrichtung (140) zum Berechnen einer korrigierten Stellgröße ( $u$ ) für die Regelstrecke (130) durch Addieren des Korrekturanteils ( $u_{cor}$ ) für die Stellgröße zu der von der Steuereinrichtung (120) berechneten Stellgröße ( $u_d$ ).